

KESAN PROSES AUSTENIT PEMBAJAAN  
KE ATAS KELULI KARBON BIASA

ZATIL HAFILA BINTI KAMARUDDIN

Laporan ini dikemukakan sebagai  
memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan  
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal  
(Struktur & Bahan)

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknikal Malaysia Melaka

APRIL 2009

‘Saya/kami akui bahawa telah membaca  
karya ini dan pada pandangan saya/kami karya ini  
adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan  
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur dan Bahan)’

Tandatangan : .....  
Nama Penyelia I : .....  
Tarikh : .....

Tandatangan : .....  
Nama Penyelia II : .....  
Tarikh : .....

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya saya telah jelaskan sumbernya”

Tandatangan :.....

Nama Penulis :.....

Tarikh :.....

*“Khas buat ibu dan bapaku, keluarga serta sahabat yang dikasihi,  
terima kasih atas segala doa, kesabaran dan pengorbanan  
kalian hingga ke hari ini. Jasa kalian akan sentiasa  
bersemadi hingga ke akhir hayat, InsyaAllah”*

## PENGHARGAAN

“Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Pengasihani”

Syukur ke hadrat Ilahi, dengan limpah dan kurnia-Nya dapat saya menyiapkan Projek Sarjana Muda (PSM) yang bertajuk kesan proses austenit pembajaan terhadap keluli karbon biasa ini dengan jayanya.

Di kesempatan ini, saya ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada penyelia Projek Sarjana Muda saya iaitu En. Wan Mohd Farid Bin Wan Mohamad yang telah memberikan bimbingan dan nasihat dalam menjayakan projek ini. Beliau sentiasa memberi tunjuk ajar serta menyumbangkan idea yang berguna kepada saya serta mengambil berat terhadap perkembangan kajian saya. Kerjasama daripada pihak pengurusan makmal, juruteknik – juruteknik daripada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, UteM terutamanya Encik Mahader Bin Muhamad dan Encik Mohd Hisham Bin Ondar daripada semasa menjalankan eksperimen di makmal amatlah dihargai.

Saya juga ingin merakamkan penghargaan saya kepada ibu, ayah dan keluarga, terima kasih buat sekian kalinya kerana sentiasa mendoakan kejayaan saya. Jasa dan pengorbanan kalian tidak akan saya lupakan. Semoga Allah S.W.T sentiasa merahmati dan membalas jasa baik kalian. Akhir sekali, penghargaan juga ditujukan kepada semua yang terlibat semada secara langsung atau tidak langsung membantu menjayakan projek penyelidikan ini. Semoga laporan ini akan menjadi sumber rujukan kepada pelajar lain kelak.

Sekian.

## ABSTRAK

Proses rawatan haba adalah proses yang memerlukan ketelitian dan kawalan yang menyeluruh. Objektif kajian ini adalah untuk mengkaji kesan suhu dan masa austenit-pembajaan ke atas mikrostruktur dan sifat mekanikal keluli karbon biasa. Pembajaan austenit juga adalah proses pemanasan untuk menghasilkan butir bainit di dalam keluli karbon biasa. Ianya melibatkan proses lindap kejut di dalam kubang larutan garam panas. Ianya dibiarkan di dalam kubang ini sehingga austenit dalam keluli ini terjelma sepenuhnya dan kemudiannya barulah didinginkan ke suhu bilik. Ujian bahan yang digunakan di dalam kajian ini adalah ujian kekerasan, ujian tegangan dan juga ujian mikrostruktur. Bagi ujian kekerasan, ianya penting bagi melihat perubahan sifat bahan selepas mengalami proses rawatan haba. Apabila masa pembajaan dipanjangkan, bahan menjadi semakin lembut, dan apabila suhu pembajaan ditingkatkan, bahan menjadi lebih kuat tetapi rapuh. Selain itu, di dalam kajian ini teknik metalografi digunakan untuk penyediaan sampel keluli dan ujian tegangan dilakukan untuk menentukan kekuatan regangan dan kekuatan alah. Di dalam kajian ini, pertumbuhan butir dan sifat mekanikal untuk proses austenit pembajaan perlu dikawal. Kedua – dua parameter ini perlu dikawal kerana untuk menghasilkan mikrostruktur dan sifat mekanikal yang sepatutnya. Di dalam kajian ini juga, suhu pembajaan telah diubah kepada 4 suhu yang berbeza dan masa pembajaan juga diubah. Kedua – dua parameter diubah kerana untuk menghasilkan pertumbuhan butir yang berbeza. Untuk ujian mikrostruktur pula, spesimen yang dihasilkan mengalami pertumbuhan ferrit dan pearlit. Selain itu, melalui proses ini eutectoid dapat dihasilkan kepada keadaan bainit sepenuhnya.

## ABSTRACT

Heat treatment process was the process which required comprehensive precision and control. Austempering process is one of the heating process to produce bainite structure of plain carbon steel. It includes quenching process in the molten salt bath. It disregards in this wallow until austenite in this steel embodiment fully and later new cooled off to room temperature. Material test are being used in this study is hardness test, tension test and also microstructure test. For hardness test, it is important to see changes material characteristics after experiencing heat treatment process. When tempering time is extended, material become soft, and when tempering temperature increase, material become stronger but brittle. In addition, in this research technique metallography used to sample preparation steel and test stretch make to determine stretch strength and yield strength. In this study, grain growth and mechanical nature to process austenite fertilization must control. Both of the parameters must control because to generate microstructure and mechanical nature which should. In this study, tempering temperatures were revised to 4 different temperatures and tempering time also is change. Both of the parameters revised because to generate different grain growth. For microstructure test, specimen produce experience growth ferrite and pearlite Specimen produce test through the test microstructure to identify growth item resultant. Through this process eutectoid can produce to the state bainite fully.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b><i>ABSTRACT</i></b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xi
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xiv
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xix
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xx
<b>BAB I</b>	<b>Pengenalan</b>	1
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Pernyataan Masalah	1
	1.3 Objektif	3
	1.4 Skop Kajian	3
	1.5 Kepentingan Kajian	3

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>BAB II</b>	<b>KAJIAN ILMIAH</b>	4
2.1	Keluli Karbon Biasa	4
2.2	Ciri – Ciri Bahan	7
2.3	Sifat Mekanikal Keluli Karbon Biasa Terbaja	9
2.4	Proses Pembajaan Austenit	11
2.5	Bahan Dan Proses Parameter	13
2.5.1	Proses Pengaustenit	16
2.5.2	Proses Lindap-kejut	16
2.5.3	Pembajaan ( <i>tempering</i> )	17
2.6	Langkah-langkah di dalam Proses Pengaustenit	17
2.6.1	Kawalan Konsisten Masa Dan Suhu Sepanjang Keseluruhan Proses	18
2.7	Kesan Pembajaan Austenit Terhadap Kekerasan Bahan	19
2.8	Perubahan-Perubahan Mikrostruktur Selepas Proses Pembajaan	21
2.9	Gambar Rajah Keseimbangan Keluli Karbon Biasa	25
2.10	Kinetik Penjelmaan Austenit / Ferit	26
2.11	Gambarajah Penjelmaan Isotermal	28
2.12	Isoterma Rawatan Haba	29
2.13	Tindak Balas Bainit	31
2.14	Teori Ujian Kekerasan Rockwell	33
2.15	Teori Ujian Tegangan	36

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>BAB III</b>	<b>METADOLOGI</b>	40
	3.1 Perancangan Kajian	40
	3.2 Bahan Dan Peralatan	42
	3.3 Pemilihan Sampel	43
	3.4 Penyediaan Sampel	43
	3.5 Proses Rawatan Haba	46
	3.5.1 Proses Pengaustenit	46
	3.5.2 Proses Pelindapkejutan	47
	3.5.3 Proses Pembajaan	47
	3.6 Ujian Mikrostruktur	49
	3.6.1 Peringkat Pensampelan	49
	3.6.2 Peringkat Cagak Sampel	50
	3.6.3 Peringkat Pencanaian Sampel	51
	3.6.4 Peringkat Penggilapan Sampel	52
	3.6.5 Peringkat Pembersihan Sampel	53
	3.6.6 Penyediaan Larutan Bahan Punar	54
	3.6.7 Proses Punaran Sampel	54
	3.7 Pemerhatian Mikrostruktur	55
	3.8 Ujian Kekerasan	56
	3.8.1 Ujian Kekerasan Melibatkan Prosedur	56
	3.9 Ujian Tegangan	57
<b>BAB IV</b>	<b>KEPUTUSAN</b>	61
	4.1 Nilai Kekerasan Selepas Proses Rawatan Haba	61
	4.2 Mikrostruktur Selepas Proses Rawatan Haba	63
	4.3 Sifat Mekanikal Selepas Rawatan Haba	66

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>BAB V</b>	<b>PERBINCANGAN</b>	70
	5.1 Pengenalan	70
	5.2 Ujian Kekerasan	70
	5.2.1 Kesan Kekerasan Terhadap Masa	71
	5.2.2 Kesan Kekerasan Terhadap Suhu	73
	5.3 Ujian Mikrostruktur	73
	5.3.1 Kesan Mikrostruktur Terhadap Masa	74
	5.3.2 Kesan Mikrostruktur Terhadap Suhu	75
	5.4 Ujian Tegangan	77
	5.4.1 Kesan Ujian Tegangan Terhadap Masa	77
	5.4.2 Kesan Ujian Tegangan Terhadap Suhu	83
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	
	6.1 Pengenalan	90
	6.2 Kesimpulan	91
	6.3 Cadangan	92
	<b>RUJUKAN</b>	94
	<b>LAMPIRAN</b>	97

## SENARAI JADUAL

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
2.1 (a)	Skala Kekerasan Rockwell	34
2.1 (b)	Skala Kekerasan Rockwell Permukaan	35
2.2	Aspek yang ditentukan di dalam ujian tegangan serta rumus pengiraan	39
3.1	Ukuran spesimen untuk ujian tegangan, mikrostruktur dan kekerasan	44
3.2	Penerangan maksud – maksud simbol yang digunakan di dalam kajian ini.	45
3.3	Komposisi larutan nital ( 2% )	54
4.1 (a)	Nilai kekerasan di dalam bacaan HRC pada suhu yang berbeza di dalam proses pembajaan selama 30 minit.	62
4.1 (b)	Nilai kekerasan di dalam bacaan HRC pada suhu yang berbeza di dalam proses pembajaan selama 45 minit.	62

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
4.1 (c)	Nilai kekerasan di dalam bacaan HRC pada suhu yang berbeza di dalam proses pembajaan selama 60 minit.	62
4.1 (d)	Jadual menunjukkan purata nilai kekerasan bagi semua sampel pada 30 minit, 45 minit dan 60 minit masa pembajaan	63
4.2	Diameter ferrit dan pearlit bagi setiap spesimen di bawah 50X pembesaran.	66
4.3	Nilai kekuatan alah ( $\sigma_y$ ), kekuatan tegang muktamad ( $\sigma_{TS}$ ), % kemuluran yang diperolehi daripada graf yang dibuat.	69
5.1	Jadual menunjukkan purata nilai kekerasan bagi semua sampel pada 30 minit, 45 minit dan 60 minit masa pembajaan.	71
5.2	Nilai kekuatan tegang pada masa pembajaan yang berbeza	77
5.3	Nilai kekuatan alah (MPa) pada masa pembajaan yang berbeza	79
5.4	Nilai kemuluran pada masa pembajaan yang berbeza	81
5.5	Nilai kekuatan tegang (MPa) pada suhu pembajaan yang berbeza	77

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
5.6	Menunjukkan nilai kekuatan alah ( MPa ) pada masa pembajaan yang berbeza iaitu 30 minit, 45 minit dan juga 60 minit.	86
5.7	Nilai kemuluran pada suhu pembajaan yang berbeza	87

## SENARAI RAJAH

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
2.1	Tiga keluli karbon biasa, dari kiri ke kanan: 1018, 1045 dan 1095. (Sumber: Sung <i>et al</i> 2006)	5
2.2 (a)	Mikrograf rendah karbon AISI / SAE 1010 menunjukkan campuran butir-butir ferit (konstituen punaran putih) dan pearlit (konstituen punaran gelap). Dilarutkan di dalam larutan nital 2% (Sumber: Sung <i>et al.</i> 2006)	6
2.2 (b)	Mikrograf sederhana karbon AISI / SAE 1040 menunjukkan paparan keluli butir-butir ferit (konstituen punaran putih) dan pearlit (konstituen punaran gelap). Dilarutkan dalam larutan picral 4% dan seterusnya nital2% (Sumber: Sung <i>et al.</i> 2006)	6
2.2 (c)	Mikrograf tinggi karbon AISI / SAE 1095 menunjukkan acuan pearlit dan beberapa butiran sempadan sementit. Dilarutkan dalam larutan picral 4% (Sumber: Sung <i>et al.</i> 2006)	7

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
2.3	Pembajaan Austenit (Sumber: Daniel 2006)	11
2.4	Rajah di atas menunjukkan skema <i>konvensional proses pembajaan austenit</i> (Sumber: Daniel 2006).	12
2.5	Gambar Rajah skema proses rawatan haba (Sumber: Putatunda <i>et al.</i> 2006)	18
2.6	Gambar Rajah kawalan konsisten masa dan suhu (Sumber: Putatunda <i>et al.</i> 2006)	18
2.7	Kesan suhu pembajaan austenit ke atas kekerasan (Sumber: William 1993).	19
2.8	Kesan suhu pembajaan austenit ke atas kekerasan (Sumber: William 1993).	20
2.9	Menunjukkan kesan suhu pengaustenit terhadap mikrostruktur yang diberi pembajaan pada 350°C selama 240 minit, yang dilarutkan di dalam larutan punar nital 2% a) 850°C b) 875°C, c) 900°C (Sumber: Rundman <i>et al.</i> 1998).	21
2.10	Mikrostruktur spesimen austenit pada suhu 850 °C (Sumber: Rundman <i>et al.</i> 1998).	24

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
2.11	Gambar Rajah keseimbangan keluli karbon biasa (Sumber: Hamzah 1997)	25
2.12	Kinetik Penjelmaan austenit /ferit ( $\gamma / \alpha$ ) (Sumber: Hamzah 1997)	26
2.13	Menunjukkan bagaimana satu gambar Rajah penjelmaan sesuhu (Sumber: Diester 1986).	28
2.14	Transformasi isothermal untuk eutektoid besi karbon aloi (Sumber: Diester 1986).	29
2.15	Rajah menunjukkan transformasi dalam penguraian austenit (Sumber: Diester 1986).	30
2.16	Kelok tegasan terikan (Sumber: Mumford 1992).	37
3.1	Carta alir bagi perancangan kajian	41
3.2 (a)	Graf menunjukkan masa pembajaan yang berbeza.	48
3.2 (b)	Graf menunjukkan masa pembajaan yang berbeza	48
3.3	Proses cagak dijalankan menggunakan <i>hot mounting process machine</i>	50

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
3.4	<i>Manual Grinding Machine</i> bersama 4 jenis kertas pasir	51
3.5	<i>Automatic Polishing Machine</i>	52
3.6	<i>Ultrasonic water bath</i>	53
3.7	Kaedah Perendaman untuk proses punaran sampel	54
3.8	Ujian Mikrostruktur dijalankan	55
3.9	Spesimen berbentuk <i>dog bone</i> dengan keratan rentas berbentuk bulatan	58
3.10	Spesimen ditanda terlebih dahulu sebelum melakukan ujian tegangan	59
4.1(a)	Graf mikro yang terhasil daripada pembajaan	64
4.1(b)	Graf mikro yang terhasil daripada pembajaan	64
4.1(c)	Graf mikro yang terhasil daripada pembajaan	65
4.1(d)	Graf mikro yang terhasil daripada pembajaan	65
4.2 (a)	Graf tegasan lawan terikan untuk spesimen A1, A2, A3	67

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
4.2 (b)	Graf tegasan lawan terikan untuk spesimen B1, B2, B3	68
4.2 (c)	Graf tegasan lawan terikan untuk spesimen C1, C2, C3	68
4.2 (d)	Graf tegasan lawan terikan untuk spesimen D1, D2, D3	69
5.1 (a)	Graf kekerasan lawan masa	71
5.1 (b)	Graf kekerasan lawan suhu	72
5.2	Graf kekuatan tegang (MPa) melawan masa ( minit )	78
5.3	Graf kekuatan alah (MPa) melawan masa ( minit )	80
5.4	Graf kemuluran melawan masa ( minit )	81
5.5	Graf kekuatan tegang (MPa) melawan Suhu (°C )	84
5.6	Graf kekuatan alah (MPa) melawan suhu (°C)	86
5.7	Graf kemuluran melawan suhu (°C )	88

**SENARAI SIMBOL**

$\mu$	=	Micro
$\gamma$	=	Austenit
$\alpha$	=	Ferrit

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>BIL.</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
A	Tegasan Lawan Terikan Untuk Semua Spesimen Bagi Mencari Kekuatan Alah	97
B	Data Bagi Ujian Tegangan	103
C	Carta Gantt untuk Psm 1 Dan II	152
D	Mikrostruktur terhadap 10X dan 20 X pembesaran	153

## BAB I

### PENGENALAN

#### 1.1 Latar Belakang

Keluli ialah sejenis aloi yang bahan utamanya ialah besi, dengan sedikit kandungan karbon di antara 0.02% dan 1.7 atau 2.04% mengikut berat (C:1000–10,8.67Fe), bergantung kepada gred. Karbon adalah bahan sebatian paling murah dan berkesan bagi besi, tetapi pelbagai unsur sebatian lain yang turut digunakan seperti manganese dan tungsten. Beberapa fungsi karbon adalah seperti agen pengeras, menghalang kerawang kristal (*crystal lattice*) dalam atom besi berpisah dengan tergelincir sesama sendiri. (Putatunda *et al*, 2006).

Jumlah unsur sebatian yang berbeza dan bentuk kehadirannya dalam keluli mengawal kualiti seperti kekerasan, kelenturan, dan kekenyalan keluli yang terhasil. Besi dengan peningkatan kandungan karbon mampu menjadi lebih kukuh dan kuat berbanding besi, tetapi ia juga lebih rapuh. Maksima kelarutan karbon dalam besi (di kawasan austenit) adalah 2.14% menurut berat, berlaku pada 1149 °C; kandungan karbon yang lebih tinggi atau suhu yang lebih rendah akan menghasilkan sementit. Sebatian besi dengan kandungan karbon lebih tinggi dari ini dikenali sebagai besi tuang kerana kadar leburnya yang lebih rendah. (Putatunda *et al*, 2006).

Pembajaan austenit adalah proses pemanasan untuk menghasilkan butir bainit di dalam keluli karbon biasa. Ianya merupakan suatu proses lindap kejut dengan keluli dalam keadaan austenit dilindap kejut ke dalam kubang larutan air garam panas iaitu pada suhu lebih tinggi daripada suhu  $M_s$  ( suhu permulaan terbentuknya struktur martensit ) keluli tersebut. Ianya dibiarkan di dalam kubang ini sehingga austenit dalam keluli ini terjelma sepenuhnya dan kemudiannya barulah didinginkan ke suhu bilik. Melalui proses ini keluli eutektoid dapat dihasilkan kepada keadaan bainit sepenuhnya (Daniel 2006).

## 1.2 Pernyataan Masalah

Di dalam kajian ini, pertumbuhan butir ( mikrostruktur ) dan sifat mekanikal untuk proses austenit – pembajaan bergantung kepada suhu dan masa austenit pembajaan. Kedua – dua parameter ini perlu dikawal dengan teliti untuk menghasilkan mikrostruktur dan sifat mekanikal yang sepatutnya. Proses austenit ini merupakan teknik pelindap kejut.

Di dalam proses ini, proses pemanasan dilakukan dengan satu suhu kritikal atas dan kemudian diikuti dengan proses penyejukan. Apabila keluli dipanaskan (  $<0.83\% C$  ) di atas titik kritikal atas dan di atas garis kritikal bawah bagi keluli (  $>0.83\%C$  ), semua ferit akan berubah menjadi austenit sebelum dilindapkejutkan di dalam medium pelindapkejut. Apabila keluli mengalami proses penyejukan yang cepat, austenit tidak sempat berubah menjadi pearlit. Oleh sebab kekisinya tertarik dan diherot, strukturnya berbentuk seperti jarum. Ia mempunyai sifat mekanikal yang sangat keras dan rapuh. Sifat – sifat ini bergantung kepada karbon, suhu pemanasan, tempoh pemanasan, suhu permulaan penyejukan dan kadar penyejukan ( Putatunda *et al*, 2006).

### 1.3 Objektif

Objektif kajian ini dijalankan adalah untuk mengkaji kesan suhu ke atas mikrostruktur ketika proses austenit pembajaan. Selain itu, dapat mengkaji masa austenit- pembajaan ke atas mikrostruktur dan mengawal parameter suhu dan masa untuk pembentukan mikrostruktur dan sifat mekanikal yang sepatutnya.

### 1.4 Skop Kajian

Mengenalpasti dan menetapkan bilangan sampel keluli berdasarkan parameter seperti suhu, masa dan kadar pemanasan yang digunakan untuk proses austenit. Selain itu, skop kajian ini meliputi teknik metalografi untuk penyediaan sampel keluli dan lakukan ujian mikrostruktur untuk mengenalpasti nama mikrostruktur, *micro-constituent* yang terbentuk dan tentukan saiz dan pertumbuhan butir. Selain itu juga, melakukan ujian tegangan untuk menentukan kekuatan tegangan muktamad, kekuatan alah dan kemuluran serta menganalisis kaitan antara sifat mekanikal, masa dan suhu proses austenit dan pertumbuhan butir.

### 1.5 Kepentingan Kajian

Kajian untuk mengkaji kesan suhu dan masa austenit ke atas mikrostruktur dan sifat mekanikal keluli karbon biasa adalah untuk meningkatkan kemuluran di dalam keluli karbon biasa. Selain itu, ianya dapat mengubah dan mempelbagaikan sifat – sifat mekanikal logam dari segi kekerasan, kerapuhan, kekuatan, tegangan, kemuluran, ketempaan, keanjalan. Selain itu juga, ianya dapat melegakan keterikan dalaman yang terhasil. Di samping itu, ianya dapat memperbaiki keliatan dan kemuluran.